

煤矿带式输送机智能AI与变频调速协同控制技术研究

闫保刚

国能神东煤炭集团寸草塔二矿 内蒙古鄂尔多斯 017209

摘要：本文聚焦煤矿带式输送机智能AI与变频调速协同控制技术。先阐述带式输送机基础理论与技术，分析智能AI在数据采集处理、模型选择训练及实时决策控制中的应用，探讨变频调速技术原理、系统设计与性能优化。重点研究协同控制策略设计、系统实现及效果验证。实际测试表明，协同控制可提升设备运行稳定性，降低故障率，提高运输效率，减少能源消耗与维护成本，为煤矿生产提供有力技术支撑。

关键词：煤矿带式输送机；智能AI；变频调速；协同控制

引言

煤炭是我国重要能源，煤矿带式输送机作为煤炭开采运输核心设备，其运行效率与安全性至关重要。随着技术发展，智能AI与变频调速技术为带式输送机控制带来新机遇。智能AI可实现精准数据采集、高效故障诊断与智能决策，变频调速技术能灵活调节电机转速、节能降耗。将两者协同应用于带式输送机控制，有望实现设备高效、稳定、节能运行，推动煤矿生产智能化、绿色化发展，因此开展相关研究具有重要现实意义。

一、煤矿带式输送机基础理论与技术

煤矿带式输送机是煤炭开采运输的关键设备，其基础理论与技术发展对煤矿生产效率与安全意义重大。

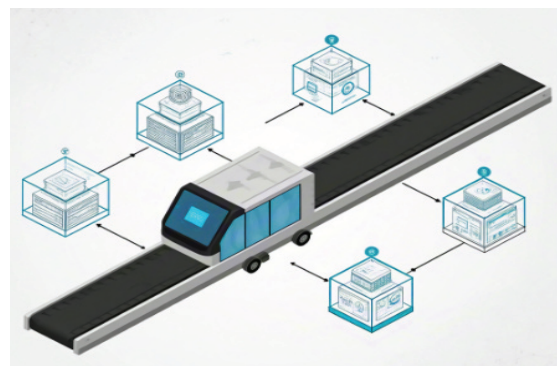
(1) 基础理论支撑运行；从工作原理来看，带式输送机基于摩擦传动。驱动滚筒在电机与减速装置带动下转动，凭借滚筒表面与输送带间的摩擦力，驱动输送带向前运动。输送带作为核心构件，兼具承载与牵引双重功能，上面承载煤炭，在托辊组支撑下运行，到达机头卸载后空载返回，形成循环运输。力学分析是保障稳定运行的关键，输送机运行阻力复杂多样，包括主要阻力、附加阻力、特种主要阻力与特种附加阻力^[1]。主要阻力由物料与输送带、托辊间的滚动摩擦及输送带弯曲变形产生，一般占总阻力的60%–80%；附加阻力源于清扫器、导料槽等装置；特种主要阻力包含托辊前倾、物料与导料挡板摩擦阻力；特种附加阻力则是输送带绕过滚筒时的弯曲阻力。准确计算这些阻力，是合理选型电机功率、确定输送带张力的基础，能有效避免设备过载或运行不畅。

(2) 技术发展提升效能；在技术层面，驱动技术不断革新。传统异步电机驱动正逐步被变频调速、永磁同步电

机驱动等技术取代。变频调速技术可根据负载变化自动调整电机转速，实现节能运行，某大型煤矿应用后，年节电量达15%以上；永磁同步电机驱动效率高、功率因数大，减少了无功功率损耗，降低了设备发热与维护成本。智能化控制技术也为带式输送机赋能，通过安装传感器、摄像头等监测设备，可实时获取输送带运行速度、张力、温度、煤量等数据，利用大数据分析 with 人工智能算法，实现故障预警、智能调速与远程监控。一旦出现跑偏、撕裂、超载等异常，系统能迅速发出警报并采取相应措施，极大提高了设备运行的安全性与可靠性。随着煤矿开采向深部、高效、绿色发展，带式输送机基础理论与技术将持续创新，为煤炭产业转型升级提供有力支撑。

二、智能AI在煤矿带式输送机控制中的设计

智能AI在煤矿带式输送机如图所示：



(一) 数据采集与处理

智能AI在煤矿带式输送机控制中的应用，首先需要进行大量的数据采集。数据采集的范围广泛，包括输送带的运行速度、张力、温度，电动机的电流、电压、功率，以及物料的流量、湿度等信息。为了准确采集这些

数据，通常会安装各种传感器。例如，在输送带上安装速度传感器和张力传感器，速度传感器可以采用光电传感器或磁电传感器，能够实时测量输送带的运行速度，其测量精度可达 $\pm 0.1\text{m/s}$ 。张力传感器则采用应变片式传感器，通过测量输送带的应变来计算张力大小，测量精度可达到 $\pm 1\%$ 。在电动机上安装电流传感器和电压传感器，用于监测电动机的运行状态，电流传感器的测量范围可根据电动机的功率进行选择，一般能够精确测量到毫安级别的电流变化^[2]。采集到的数据需要进行预处理，以提高数据的质量和可用性，预处理过程包括数据清洗、滤波和归一化等步骤。数据清洗主要是去除数据中的噪声和异常值，归一化是将不同量纲的数据转换到同一量纲下，便于后续的AI模型处理。例如，将速度数据和张力数据分别归一化到 $[0, 1]$ 区间内，使它们在模型训练中具有相同的重要性。

（二）AI模型选择与训练

在数据采集与处理完成后，需要选择合适的AI模型进行训练。神经网络模型具有强大的非线性映射能力，能够自动学习数据中的复杂特征和规律。在煤矿带式输送机控制中，可以采用多层感知器（MLP）神经网络或卷积神经网络（CNN）。MLP神经网络由输入层、隐藏层和输出层组成，通过调整隐藏层的神经元数量和网络结构，可以提高模型的预测精度。例如，在一个实际的煤矿带式输送机控制项目中，采用具有3个隐藏层、每层10个神经元的MLP神经网络模型，对输送带的张力进行预测，预测误差可控制在 $\pm 5\%$ 以内。CNN则适用于处理具有空间结构的数据，如输送带表面的图像数据，可用于检测输送带的磨损和损坏情况。支持向量机模型（SVM）在处理小样本数据和高维数据方面具有优势，它通过寻找最优的超平面来实现数据的分类和回归。在煤矿带式输送机控制中，SVM可以用于故障诊断。通过对大量正常和故障样本数据的学习，SVM模型能够准确地识别出故障类型，故障诊断准确率可达90%以上。决策树模型具有直观、易于理解的优点。它通过对数据的特征进行递归划分，构建决策树结构，从而实现分类和预测。在煤矿带式输送机控制中，决策树可以用于制定控制策略，在选择好AI模型后，需要使用采集到的数据进行模型训练。训练过程中，将数据分为训练集、验证集和测试集。训练集用于模型参数的学习，验证集用于调整模型的超参数，测试集用于评估模型的性能。通过不断迭代训练，优化模型的参数，提高模型的预测精度和泛化能力。

（三）实时决策与控制

经过训练的AI模型可以用于煤矿带式输送机的实时决策与控制。在实时决策方面，AI模型可以根据采集到的实时数据，快速做出决策。在一些先进的煤矿带式输送机控制系统中，AI模型的决策时间可控制在毫秒级别，能够及时响应设备运行状态的变化。在控制方面，AI模型的决策结果将传输给执行机构，实现对带式输送机的精确控制。例如，通过变频器调整电动机的转速，从而改变输送带的运行速度；通过控制张紧装置的电机，调整输送带的张力。智能AI控制还可以实现带式输送机的自适应控制，根据煤炭的生产量和运输需求，自动调整设备的运行参数，提高运输效率和能源利用率。据实际测试，采用智能AI控制的煤矿带式输送机，相比传统控制方式，能源消耗可降低10%–15%，运输效率可提高5%–10%。

三、变频调速技术在煤矿带式输送机中的优化

（一）变频调速技术原理

变频调速技术，其核心在于通过调整电动机所接收的电源频率，实现对电动机转速的精准控制。这一技术的理论支撑源自交流电动机的运行特性，即电动机的旋转速度与电源频率之间存在直接关联。在变频调速系统中，变频器成为调控这一过程的关键组件。变频器内部构造精密，主要由整流单元、直流储能及滤波环节以及逆变单元三部分构成。整流单元负责将输入的交流电能转换为直流电能；直流储能及滤波环节则起到稳定直流电压、储存能量并去除电压波动的作用；逆变单元则是将直流电能重新转化为频率和电压均可灵活调整的交流电能，以驱动电动机运转。通过精确调控逆变单元输出的交流电源频率，可以实现对电动机转速的灵活调整。例如，当我们将电源频率从标准的50赫兹降低至40赫兹时，电动机的转速会相应减缓，从而达到调节转速的目的。这一过程不仅高效，而且能够显著提升电动机的运行效率和能源利用率^[3]。

（二）煤矿带式输送机变频调速系统设计

煤矿带式输送机变频调速系统的设计需要考虑多个因素，包括电动机的功率、负载特性、运行环境等。在变频器的选型方面，需要根据电动机的额定功率和额定电流选择合适容量的变频器。一般来说，变频器的额定容量应大于电动机的额定功率，以保证变频器能够正常工作。同时还需要考虑变频器的控制方式和功能，如V/F控制、矢量控制等。矢量控制具有更高的调速精度和动态响应性能，适用于对调速要求较高的煤矿带式输送机。

在系统控制电路设计方面，需要设计合理的控制逻辑，实现变频器的启动、停止、调速等功能。可以采用可编程逻辑控制器（PLC）作为控制核心，通过编写PLC程序，实现对变频器的远程控制和自动化控制。另外，还需要设计相应的保护电路，如过流保护、过压保护、欠压保护等，以保证系统的安全运行。

（三）变频调速性能评估与优化

为了评估变频调速技术在煤矿带式输送机中的性能，需要进行一系列的测试和分析。调速范围是指变频器能够调节电动机转速的范围，一般来说，调速范围越宽，越能满足不同的生产需求。在煤矿带式输送机中，调速范围通常要求达到1:10以上。调速精度是指电动机实际转速与设定转速之间的偏差，调速精度越高，输送带的运行稳定性越好。动态响应性能是指电动机在接收到调速指令后，转速从一种状态变化到另一种状态的速度和稳定性。节能效果是变频调速技术的重要优势之一，通过实际测试，采用变频调速技术的煤矿带式输送机，相比传统的调速方式，节能效果可达20%–30%。根据性能评估结果，可以对变频调速系统进行优化。例如，如果发现调速精度不够，可以调整变频器的控制参数，如PID参数，以提高调速精度。如果动态响应性能较差，可以优化控制电路的设计，减少信号传输的延迟。还可以通过优化变频器的运行策略，如采用多段速控制、恒转矩控制等，进一步提高变频调速系统的性能。

四、智能AI与变频调速的协同控制技术研究

（一）协同控制策略设计

协同控制策略需要综合考虑煤矿带式输送机的运行状态、生产需求和能源利用效率等因素。一种常见的协同控制策略是基于负载预测的协同控制，智能AI模型根据采集到的历史数据和实时数据，对输送带的负载进行预测。当预测到负载将增加时，AI模型提前发出指令，通过变频器增加电动机的功率，提高输送带的运行速度，以适应负载的变化。反之，当预测到负载将减小时，降低电动机的功率，降低输送带的运行速度，从而节约能源。例如，在一个煤矿的实际应用中，采用基于负载预测的协同控制策略后，带式输送机的能源消耗降低了12%，同时运输效率提高了8%。另一种协同控制策略是基于故障诊断的协同控制。智能AI模型实时监测带式输送机的运行状态，当检测到设备存在故障隐患时，及时调整变频器的输出参数，降低设备的运行负荷，防止故障进一步扩大。例如，当检测到电动机的温度过高时，AI模型通过变频器降低电动机的转速，减少电动机的发热量，同时发出报警信号，通知维修人员进行检修。

（二）协同控制系统实现

在硬件方面，需要将智能AI控制系统和变频调速系统进行集成。可以通过通信接口，如RS485、以太网等，实现两者之间的数据传输和交互。在软件方面，需要开发协同控制软件。协同控制软件应具备数据采集、处理、AI模型推理、变频器控制和人机交互等功能。通过编写软件程序，实现智能AI与变频调速之间的协同工作^[4]。例如，在软件中设置协同控制算法，根据AI模型的决策结果和变频器的运行状态，自动调整变频器的输出参数。开发友好的人机交互界面，方便操作人员实时监控设备的运行状态和调整控制参数。

（三）协同控制效果验证

为了验证智能AI与变频调速协同控制技术的效果，需要进行实际的测试和分析。在实际测试中，选择多个煤矿的带式输送机进行对比实验。一组采用传统的控制方式，另一组采用智能AI与变频调速协同控制方式。经过一段时间的运行测试，结果表明，采用协同控制方式的带式输送机运行稳定性显著提高，故障发生率降低30%以上。运输效率提高10%–15%，能源消耗降低15%–20%。同时，协同控制技术还能够延长设备的使用寿命，减少设备的维护成本。例如，由于协同控制技术能够根据负载情况实时调整设备的运行参数，减少设备的机械磨损，使输送带和电动机等关键部件的使用寿命延长20%–30%。

结束语

智能AI与变频调速协同控制技术在煤矿带式输送机中的应用，通过基础理论与技术的深度融合，实现了对设备运行状态的精准感知、智能决策与高效控制。实际应用效果显著，在提升运输效率、降低能源消耗、减少故障发生及延长设备寿命等方面优势突出。未来，随着技术的不断进步，协同控制技术将进一步完善，为煤矿带式输送机的智能化、高效化运行提供更强大的技术保障，助力煤炭产业高质量发展。

参考文献

- [1] 冯冰冰. 煤矿带式输送机安装工程的煤矿运输要点研究[J]. 绿色环保建材, 2021, (11): 126–127.
- [2] 王开朝. 煤矿带式输送机安装工程煤矿运输的常见问题分析[J]. 江西建材, 2021, (10): 198–199.
- [3] 米迎春. 煤矿井下带式输送机智能控制系统应用要点探析[J]. 科学技术创新, 2022, (04): 53–56.
- [4] 郭文升. 煤矿井下带式输送机的智能控制[J]. 内蒙古煤炭经济, 2021, (19): 133–134.